

COMUNE DI LUZZANA
PROVINCIA DI BERGAMO

INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDRICO MINORE

D.G.R. 25 gennaio 2002 n° 7/7868 - D.G.R. 01 agosto 2003 n° 7/13950

RELAZIONE TECNICA

dottor
franco salvetti
ingegnere
via innocenzo XI, 8 - bergamo
tel. 035.40.32.47 - fax 035.40.32.57

data **Febbraio 2009**

agg.

agg. **Giugno 2009**

INDICE

RELAZIONE TECNICA:

1. Premessa.
2. Caratteri del territorio.
3. Individuazione del Reticolo Idrico Principale.
4. Individuazione del Reticolo Idrico Minore.
5. Definizione delle fasce di rispetto dei corsi d'acqua.
6. Normativa urbanistica per le aree comprese nelle fasce di rispetto dei corsi d'acqua.
7. Regolamento di Polizia Idraulica.
8. Normativa di riferimento.
9. Elaborati cartografici.
10. Considerazioni finali.

Allegato: Relazione idraulica relativa al tratto terminale tombato della Valle del Castello.

ALLEGATO "A":

Elenco dei corsi d'acqua del Reticolo Idrico Minore.

ALLEGATO "B":

Regolamento di polizia idraulica:

1. Regolamento per l'esercizio della polizia idraulica sul reticolo idrografico minore.
2. Tipologie di opere autorizzabili e relativa modulistica.
3. Decreti tipo per autorizzazioni e concessioni:
 - 3.1 Decreto tipo di autorizzazione ai soli fini idraulici.
 - 3.2 Disciplinare tipo di autorizzazione ai soli fini idraulici.
 - 3.3 Decreto tipo di concessione area demaniale.
 - 3.4 Disciplinare tipo di concessione di area demaniale.

CARTOGRAFIA

Tav. 1: Planimetria dei corsi d'acqua e delle fasce di rispetto (scala 1/2.000);

1. PREMESSA

In attuazione dell'art. 3, comma 114, della L.R. n. 1 del 2000, che trasferisce ai Comuni le funzioni di polizia Idraulica concernenti il Reticolo Idrico Minore, la Regione Lombardia ha emanato la D.G.R. n. 7868 del 25 gennaio 2002 e la successiva D.G.R. n. 13950 del 01 agosto 2003, che definiscono i criteri di applicazione delle disposizioni di Polizia Idraulica previste dal R.D. n. 523 del 1904 (Testo Unico in materia di polizia idraulica). In particolare, i decreti citati definiscono i criteri per l'individuazione del reticolo idrico minore e delle relative fasce di rispetto, nonché le attività consentite, previa autorizzazione o nulla osta idraulico, all'interno delle fasce di rispetto di ciascun corso d'acqua.

La D.G.R. n. 7868 contiene l'elenco dei corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Principale (all. A, sostituito dall'all. A della D.G.R. n. 13950), che restano di competenza della Regione Lombardia e l'elenco dei canali di bonifica gestiti dai Consorzi di Bonifica (all. D).

La Delibera specifica i criteri (all. B, sostituito dall'all. B della D.G.R. n. 13950) per l'esercizio delle attività di Polizia Idraulica relative al Reticolo Idrico Minore, costituito da tutti i corsi d'acqua che non rientrano negli elenchi dei corsi d'acqua del Reticolo Principale e dei Canali di Bonifica, e i criteri di inserimento dei corsi d'acqua nell'elenco di quelli appartenenti al Reticolo Minore e i criteri per la definizione delle relative fasce di rispetto.

L'allegato C della D.G.R. n. 13950 determina i canoni di polizia idraulica.

I Comuni devono individuare il reticolo idrico minore su un apposito elaborato tecnico costituito, da una parte cartografica, con l'indicazione del reticolo idraulico e delle relative fasce di rispetto, e da una parte normativa, con l'indicazione delle attività vietate o soggette ad autorizzazione all'interno delle fasce di rispetto, e acquisire su tale elaborato il parere tecnico vincolante del Dirigente della Sede territoriale. Acquisito tale parere, l'elaborato di Individuazione del Reticolo Idrico

Minore e delle relative fasce di rispetto, viene recepito nello strumento urbanistico, compresa la sua parte normativa.

La corretta gestione dei corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Minore e il coordinamento delle attività ad essi connessi sono evidentemente di fondamentale importanza per la gestione del territorio, per la sicurezza e per la tutela paesaggistico-ambientale, e la Regione Lombardia ha delegato tali compiti al Comune, che possiede una più puntuale e diretta conoscenza del territorio.

2. CARATTERI DEL TERRITORIO

Il Comune di Luzzana è situato nella media Valle Cavallina, nel bacino del torrente Cherio, a nord - est di Trescore Balneario e a sud-ovest di Borgo di Terzo, con una superficie territoriale di Km² 3.38.

Il territorio si estende sulle pendici est del monte Pranzà, che raggiunge la quota di 1099 s.l.m., fino al fondovalle e al fiume Cherio che scorre alla quota approssimativa di m 275 s.l.m..

La stretta fascia sud - est del territorio comunale, attraversata appunto dal Cherio, è sostanzialmente pianeggiante, ed è appunto costituita dai depositi del fiume. Al limite di tale fascia il territorio prende a salire, e si inerpica, con pendenza sempre più rilevante, verso il monte Pranzà e lo spartiacque con la Valle Seriana.

Il nucleo principale di Luzzana è sorto in posizione elevata rispetto al Cherio, sulle prime pendici del versante.

Il confine nord-ovest del territorio di Luzzana è costituito dalla cresta de Monte Pranzà che per un tratto fa da spartiacque con la Valle Seriana, il confine sud – ovest è costituito dallo spartiacque, denominato Cresta del Colle, tra la Valle dell'Acqua (Torrente Bragazzo), che incide il territorio Comunale in direzione nord-ovest sud-est, e la Val di Carpon, in Comune di Trescore Balneario e il confine sud – est è definito dal fiume Cherio.

Dal punto di vista geologico, il territorio è caratterizzato da formazioni prevalenti del mesozoico (Lias e Cretaceo). I terreni della collina

provengono sostanzialmente da disfacimento di calcari, dolomie, marne. Abbondante la presenza di “pietra della Luna”.

In prossimità del fondovalle si hanno depositi morenici, e fluviali, prodotti dal ghiacciaio dell’Adamello e dal Cherio, che ha riempito la valle e si è quindi scavato una seconda volta il letto nei suoi stessi depositi.

Non si entra, in questa sede, nei dettagli degli aspetti climatici geologici, geomorfologici, tettonici, idrografici e idrogeologici, ecc., che sono ampiamente trattati nella relazione agli studi geologici di dettaglio, redatti a supporto del P.R.G., ai sensi della Legge Regionale 41/97.

L’area presenta un “Clima delle medie latitudini, piovoso”, caratterizzato da un inverno mite o caldo temperato piovoso in cui la temperatura del mese più freddo si colloca sotto i 18° ma sopra i -3°, mentre la temperatura media del mese più caldo supera i 10°, ma è inferiore ai 22°, con un’estate che può essere considerata fresca. Non esiste una stagione veramente asciutta ed il mese con minori precipitazioni è caratterizzato da piogge superiori ai 30 mm.

Facendo riferimento alla classificazione proposta per l’Italia dal Mori (1957), la regione del Lago di Endine, va inserita in quella che è stata definita come “regione padana” e più precisamente nella “subregione lacustre”. Essa è caratterizzata principalmente da un inverno piuttosto freddo anche se parzialmente mitigato dall’azione termoregolatrice delle masse d’acqua contenute nei laghi e da un’estate non eccessivamente calda per la presenza di un regolare regime di brezze; termicamente quindi si evidenzia un moderato grado di continentalità. Le piogge non sono molto abbondanti, ma distribuite abbastanza uniformemente durante tutto l’anno.

La conformazione del territorio è tale da difenderlo dai venti freddi settentrionali, con la cortina di colline e montagne poste a nord, che sale rapidamente dal fondovalle alla quota di m 1084 s.l.m.

Il territorio è coperto per la parte più elevata da bosco ceduo, che più in basso cede il posto alle coltivazioni delle zone collinari (vite, castagni, noci).

3. INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE

L'allegato A della D.G.R. n. 7868 (sostituito dall'all. A della D.G.R. n. 13950) elenca i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Principale, di competenza della Regione Lombardia.

Per il Comune di Luzzana sono individuati i seguenti corsi d'acqua:

N. Progr.	Denominazione	Comuni interessati	Foce o sbocco	Tratto clas. come princ.	N. iscr. AAPP
BG192	Torrente Cherio	Palosco, Mornico, Calcinate, Bolgare, Carobbio, Gorlago, Zandobbio, Trescore Balneario, Entratico, Luzzana, Berzo S. fermo, Borgo di Terzo, Grone, Vigano San Martino, Casazza, Monasterolo del Castello	Oglio	Dallo sbocco fino al Lago di Endine	NE
BG135	Torrente Bragazzo	Luzzana	Cherio	Dallo sbocco alla confluenza della Valle della Corna	363/IV

4. INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDRICO MINORE

Per la definizione del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e delle relative fasce di rispetto, si è fatto riferimento alla documentazione

esistente, partendo dal rilievo aerofotogrammetrico del territorio comunale, in scala 1/2.000 (riprese aeree della primavera 2007) e confrontandolo con la cartografia catastale (mappe catastali in scala 1/1.000 e 1/2.000), con la cartografia regionale (CTR) in scala 1/10.000 e con la cartografia nazionale (Tavoletta I.G.M.) in scala 1/25.000.

Sono quindi stati individuati i corsi d'acqua che:

- sono indicati come demaniali nelle carte catastali o in base a normativa vigente;
- sono stati oggetto di interventi di sistemazione idraulica con finanziamenti pubblici;
- siano rappresentati come corsi d'acqua nelle cartografie ufficiali (CTR, IGM).
- siano comunque riconoscibili come tali nella cartografia aerofotogrammetria comunale.

Per la definizione di "corso d'acqua" si è fatto riferimento alla delibera del Comitato Interministeriale Ambiente del 4 febbraio 1977, pubblicata sulla G.U. 21 febbraio 1977 n. 48, che comprende in tale denominazione "... i corsi d'acqua naturali, fatto però esclusione dei canali appositamente costruiti per lo smaltimento dei liquami e di acque reflue industriali", e quindi sono stati esclusi i collettori artificiali di acque meteoriche.

I corsi d'acqua appartenenti al reticolo minore e quelli appartenenti al reticolo principale sono evidenziati, insieme alle relative fasce di rispetto, nella tavola 1 allegata.

L'elenco dei corsi d'acqua che costituiscono il reticolo minore risulta dall'allegato A alla presente relazione, che, per ciascun corso d'acqua, indica:

- il codice identificativo del corso d'acqua;
- la denominazione del corso d'acqua (dove esistente);
- il codice identificativo del corso d'acqua in cui si immette;
- l'identificazione del punto iniziale e del punto finale del tratto classificato;

- la lunghezza del tratto classificato;

Per chiarezza in ordine al significato del codice identificativo di corso d'acqua e ai criteri di attribuzione, si precisa che:

- I corsi d'acqua sono stati classificati secondo la posizione, percorrendo il territorio comunale in senso orario a partire dal confine ovest;
- I corsi d'acqua sono stati raggruppati in funzione del recapito nel quale ciascuno di essi sfocia;
- La prima lettera del codice identificativo definisce il recapito nel quale sfocia il corso d'acqua classificato, e quindi
 - o A = corsi d'acqua che sfociano nel Cherio, classificato come BG192.
 - o B = corsi d'acqua che sfociano nel Torrente Bragazzo (reticolo principale), classificato come BG135.
- Le due cifre del codice identificativo definiscono il numero progressivo dell'asta affluente a ciascun recapito (in senso orario).
- L'ultima lettera identifica (in senso orario) l'ordine dei rami secondari.

5. DEFINIZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO DEI CORSI D'ACQUA

Le fasce di rispetto, sia dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo principale, sia di quelli che formano il reticolo minore, sono state definite partendo dai criteri fissati del regio decreto 523/1904, e cioè definendo, di norma, una fascia di rispetto della larghezza di m 10 su ciascuna sponda.

La fascia di rispetto è stata invece ridotta a m 5 per ciascun lato nel tratto terminale della Valle del Castello (A01A), a valle della S.S.42, che risulta tombato e occupato da edifici produttivi, peraltro con regolari autorizzazioni, pressoché per l'intero tratto. Le verifiche idrauliche condotte sul tratto tombato garantiscono comunque un ampio margine per il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni, come risulta dalla relazione idraulica in allegato.

Le fasce di rispetto dei corsi d'acqua, sia per il reticolo principale sia per il reticolo idrico minore, sono state indicate nella Tavola 1 a allegata alla presente relazione.

6. NORMATIVA URBANISTICA DELLE FASCE DI RISPETTO DEI CORSI D'ACQUA

Si è ritenuto opportuno definire una proposta di normativa per le aree comprese in alveo e nelle fasce di rispetto dei corsi d'acqua. Tale norma, che può essere inserita nel Piano delle Regole del Piano di Governo del Territorio, è la seguente:

“E’ vietata la tombinatura dei corsi d’acqua.

Sono consentite le opere di difesa e riqualificazione degli argini e le opere pubbliche e di pubblico interesse realizzate, anche da privati, previa autorizzazione degli enti competenti. Tali opere dovranno essere realizzate preferibilmente con metodi di ingegneria naturalistica e dovranno essere caratterizzate da pendenze e modalità costruttive tali da permettere l’accesso al corso d’acqua; la realizzazione di muri spondali verticali o ad elevata pendenza è consentita solo là dove sia dimostrata l’impossibilità di soluzioni alternative a causa delle limitatezze delle aree disponibili.

Gli attraversamenti potranno essere realizzati a condizione che le spalle non determinino un restringimento dell’alveo, e che i manufatti di attraversamento siano posati ad una quota superiore a quella del livello di massima piena, valutato per un tempo di ritorno $T= 200$ anni, con un franco minimo di m 1.00, misurato tra l’intradosso della struttura e la quota di massima piena.

Nelle fasce di rispetto fluviale sono vietate le nuove costruzioni, e una fascia di 4 m. dalla linea individuata dal livello di massima piena con tempo di ritorno $T= 200$ anni dovrà essere tenuta sgombra anche da recinzioni di qualsiasi tipo.

Per tutte le opere consentite dovrà essere dimostrata comunque l'assenza di ogni influenza negativa, diretta o indiretta, sul regime del corso d'acqua.

Le opere esistenti al 31/12/2006 nell'ambito delle fasce di rispetto o in alveo potranno essere autorizzate, su richiesta dei proprietari, purchè si dimostri che tali opere non impediscono il deflusso della piena con tempo di ritorno $T=200$ anni e con un franco di m 1.00."

La norma, che rispetta ovviamente quanto previsto dalla legislazione vigente, ha come obiettivo la regolarizzazione, quando possibile e compatibile, delle opere già esistenti in fascia di rispetto o direttamente in alveo, a condizione che tali opere vengano adeguate in modo da consentire un deciso miglioramento della situazione esistente, e garantiscano comunque il passaggio della portata di massima piena con tempo di ritorno $T= 100$ anni e con un congruo margine di sicurezza (franco di m 1.00). La norma tende inoltre a consentire il recupero della piena agibilità della porzione di fascia di rispetto (della larghezza complessiva di 10 metri) direttamente adiacente all'alveo fluviale.

7. REGOLAMENTO DI POLIZIA IDRAULICA

La Delibera n. 13950 stabilisce che l'elaborato tecnico di individuazione del reticolo idrico minore contenga una parte normativa con l'indicazione delle attività vietate o soggette ad autorizzazione all'interno delle fasce di rispetto.

Tale parte normativa è contenuta nell'allegato B, "Regolamento di Polizia Idraulica".

8. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme fondamentali di riferimento per la regolamentazione delle attività di polizia idraulica sono le seguenti:

- R.D. n. 523/1904 (e in particolare gli artt. 96, 97, 98 e 59);
- R.D. n. 368/1904;
- T.U. n. 1775/1933;
- L. 36/1994;
- L.R. n. 1/2000;
- D.G.R. n. 47310 del 22.12.1999;
- D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002;
- D.G.R. n. 7/13950 del 01.08.2003.
- D.G.R. n. 8/5774 del 31.10.2007.
- Decreto D.G. n. 8943 del 03.08.2007 – Linee Guida di Polizia Idraulica.
- D.G.R. n. 8/8127 dell'01.10.2008.

9. ELABORATI CARTOGRAFICI

La tavola in allegato riporta, alla scala dello strumento urbanistico, e quindi in scala 1/2.000 per l'intero territorio comunale:

- Il reticolo principale individuato dalle DGR 7868 e 13950;
- Il reticolo minore, individuato secondo i criteri esposti ai paragrafi precedenti;
- Le fasce di rispetto del reticolo principale (definite secondo i criteri esposti al paragrafo 5);
- Le fasce di rispetto del reticolo minore (definite secondo i criteri esposti al paragrafo 5).

10. CONSIDERAZIONI FINALI

Dalla cartografia allegata risultano le opere presenti negli alvei, i manufatti, gli attraversamenti pedonali e stradali, gli argini di contenimento, i tombotti, le briglie, gli attraversamenti di linee aeree.

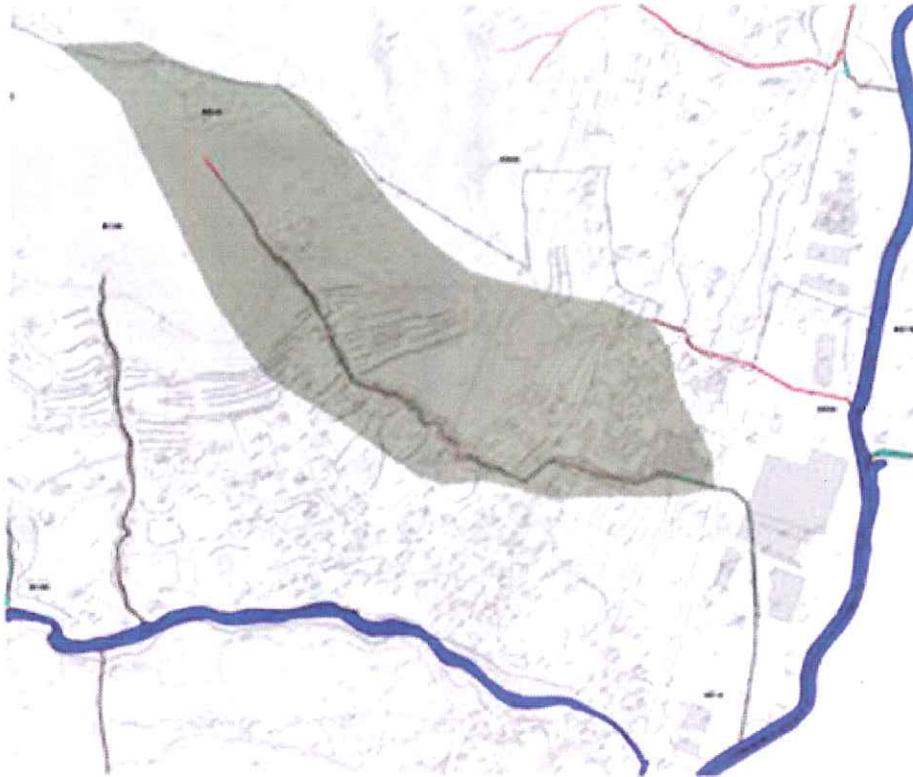
Sarà tuttavia necessario procedere alla puntuale ricognizione dei manufatti esistenti in alveo, per individuare eventuali manufatti che non risultino dal rilievo aerofotogrammetrico, gli attraversamenti in subalveo e quant'altro rilevante ai fini dell'applicazione dei canoni di polizia idraulica. Occorrerà inoltre procedere alla esatta determinazione della proprietà e dell'entità delle opere realizzate all'interno degli alvei del reticolo minore, al fine di definire i canoni annuali, e alla formazione di un adeguato "data base" per una efficiente e rapida gestione dei dati.

Tali approfondimenti, che ovviamente esulano dagli obiettivi del presente elaborato, potranno utilmente essere condotti dal Comune dopo la sua approvazione.

ALLEGATO

CARATTERISTICHE DEL BACINO

Il bacino idrografico del torrente denominato Valle del Castello, con sezione di chiusura in corrispondenza della quota 292.00 ha un'estensione pari a circa 0.17 km², e un'altitudine media pari a circa 453.00 m s.l.m. Essendo la sezione di chiusura alla quota 292.00 m s.l.m., l'altitudine media del bacino sulla sezione di chiusura risulta di m 161.00.



CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Il calcolo della portata di piena (per un assegnato tempo di ritorno) può essere fatto o mediante l'uso delle numerose formule empiriche esistenti in letteratura, o attraverso l'analisi della pluviometria della zona e la successiva applicazione di un modello di trasformazione afflussi - deflussi.

Formule empiriche

Date le dimensioni modeste del bacino, la formula di Gherardelli - Marchetti:

$$Q'_{\max} = Q_{100} (S/100)^{-2/3}$$

darebbe valori di portata troppo elevati. E' invece applicabile la formula, ricavata da Mongiardini modificando la precedente per poterla applicare a bacini di piccole dimensioni:

$$Q'_{\max} = Q_{100} (S/100)^{-1/2}$$

dove:

- Q'_{max} = contributo di massima piena [mc/sec kmq];
 S = area del bacino [kmq];
 Q_{100} = parametro caratteristico della regione idrologica a cui appartiene il bacino [mc/sec kmq]
 (rappresenta il contributo di massima piena relativo ad un'area scolante di 100 kmq);

Per i bacini lombardi prelacuali, Gherardelli e Marchetti hanno condotto osservazioni sperimentali che indicano valori di Q_{100} compresi fra 3 e 5 mc/sec kmq.

Adottando il valore $Q_{100} = 4$, si ricava:

$$Q'_{max} = 4 \times (0.17/100)^{-1/2} = 97.01 \text{ mc/sec Km}^2$$

e quindi la portata di massima piena Q_{max} risulta:

$$Q_{max} = Q'_{max} \times S = 97.01 \times 0.17 = 16.49 \text{ mc/sec}$$

La formula di Forti:

$$Q'_{max} = 3.25 \times [500/(S + 125)] + 1$$

valida per bacini in cui la pioggia massima giornaliera è compresa fra 200 e 400 mm e dove:

- Q'_{max} = contributo di massima piena [mc/sec kmq];
 S = area del bacino [kmq];

conduce ad un valore di portata di piena inferiore:

$$Q'_{max} = 3.25 \times [500/(0.17 + 125)] + 1 = 13.98 \text{ mc/(sec Km}^2)$$

$$Q_{max} = Q'_{max} \times S = 13.98 \times 0.17 = 2.38 \text{ mc/sec}$$

Come è evidente, si tratta di valori eccessivi (il primo) o troppo bassi (il secondo). Altre formule empiriche danno valori di portata più elevati, e non sono in definitiva attendibili, essendo state ricavate per bacini di dimensioni maggiori (Tonini) o soggetti a piogge molto più elevate (De Marchi).

Modelli di trasformazione afflussi - deflussi

Per il calcolo probabilistico delle portate di deflusso conseguenti agli eventi meteorici vengono utilizzate le cosiddette curve di possibilità climatica.

Detta h l'altezza di precipitazione in funzione della durata t delle piogge stesse, si stabilisce per le curve di possibilità climatica una relazione monomia del tipo:

$$h = a t^n$$

dedotta classificando in ordine decrescente le massime precipitazioni verificatesi in passato ed involupando superiormente i dati di pari ordine.

Ci si affida cioè ad un'analisi probabilistica che consenta di trovare una relazione del tipo suddetto collegata ad una assegnata probabilità di superamento: si vuole cioè trovare l'altezza di pioggia h ,

relativa ad una certa durata t , che abbia una bassa probabilità di essere uguagliata o superata durante il periodo di un anno.

Per il calcolo delle portate di piena in un bacino naturale sulla base delle quali dimensionare le opere di difesa e di regimazione fluviale è opportuno assumere tale probabilità minore o uguale all'1%, o, in altri termini, assegnare all'evento un tempo di ritorno (T) superiore o uguale a 100 anni. Appare cioè corretto, in considerazione degli ingenti danni che possono derivare da situazioni di insufficienza idraulica dei corsi d'acqua, dimensionare le opere di protezione facendo riferimento a piogge che, mediamente e in senso probabilistico, non vengono superate più di una volta in 100 anni.

Il concetto di tempo di ritorno non deve comunque essere scambiato con il rischio di superamento della grandezza h in un determinato intervallo di tempo.

Il rischio viene infatti definito come la probabilità P che il massimo annuale h venga superato almeno una volta in N anni ed è legato al tempo di ritorno T dall'espressione:

$$P = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Quindi, la probabilità (o il rischio) di superamento in N anni di un evento il cui tempo di ritorno sia di 200 anni, sarà:

- in 1 anno: $P = 1 - (1 - 1/200)^1 = 0,005 = 0.5\%$
- in 10 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{10} = 0,096 = 4.9\%$
- in 20 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{20} = 0,182 = 9.5\%$
- in 50 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{50} = 0,395 = 22.2\%$
- in 100 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{100} = 0,634 = 39.4\%$
- in 200 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{200} = 0,634 = 63.3\%$
- in 500 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{500} = 0,634 = 91.8\%$
- in 1000 anni: $P = 1 - (1 - 1/200)^{1000} = 0,634 = 99.3\%$

Sono state esaminate ed elaborate le serie storiche degli eventi meteorici massimi annui registrati dal pluviografo del Servizio Idrografico Italiano di Bergamo (Quota: m 366 s.l.m.) ritenuti validi anche per il bacino in esame.

La tabella 1 fornisce, per ciascun anno di osservazione, le altezze di pioggia h (in mm), in funzione della durata t , associate a tali eventi.

La distribuzione di probabilità adottata è quella di Gumbel o del massimo valore:

$$h = u - (1/\alpha) \ln \{ \ln [T/(T-1)] \}$$

in cui:

h = altezza di pioggia [mm];

T = tempo di ritorno [anni];

u = $\mu' - 0.45 S$;

α = $1.283 / S$;

μ' = media dei valori delle altezze;

S = scarto quadratico medio delle altezze.

I valori di u e α per ogni durata sono riportati nella stessa tabella.

I punti corrispondenti alle coppie di valori $\log(h) - \log(t)$, dove t è la durata dell'evento, sono stati elaborati statisticamente per ogni tempo di ritorno, con il metodo dei minimi quadrati, ottenendo le rette che forniscono le costanti a ed n delle curve di possibilità climatica con

n = pendenza della retta

ed

a valore di h per $\log(t) = 0$ (durata pari ad un'ora)

Nella tabella 2 sono riportati i valori dei parametri a ed n caratteristici di tali curve per ciascun tempo di ritorno, mentre nella figura 1 sono rappresentate le curve di possibilità climatica, relative alla stazione considerata, ottenuti regredendo le coppie di valori Logh-Logt per tempi di ritorno compresi tra 10 e 500 anni.

Stazione pluviometrica del S.I.I. n° 1021 Bergamo (Quota: m 366 s.l.m.) Serie storica dei massimi annuali delle piogge Altezza massima annuale (mm) per piogge della durata di 1 - 3 - 6 - 12 - 24 ore					
ANNO	DURATE (ore)				
	1	3	6	12	24
1936	21.6	31.6		46.0	74.6
1937	55.0	56.6		69.6	87.6
1938	51.4	54.6	54.8		
1939	45.4	52.4	77.8	109.0	151.0
1940	39.4	48.0	73.0	97.6	
1941	27.8	29.2	30.6	44.0	46.0
1942	28.0	37.0	42.0	47.0	75.0
1943	20.0	31.4	36.0	43.6	56.4
1944	31.0	42.4	58.6	74.2	78.0
1945	19.0	32.6	43.5	53.6	60.0
1946	23.0	26.2	40.0	46.2	48.0
1947	35.8	42.6	43.2	43.2	80.0
1948	26.0	35.0	55.0	56.0	67.0
1949					
1950	44.6	54.0	54.0	64.4	71.8
1951	28.0	30.8	48.0	63.0	116.0
1952	38.0	42.2	46.0	57.0	69.0
1953	43.6	50.0	57.4	59.0	66.4
1954	18.0	23.4	24.6	38.6	49.4
1955	39.0	40.6	46.4	54.4	55.0
1956	18.2	20.0	24.6	40.6	62.0
1957	36.0	42.5	45.0	45.2	67.4
1958	22.6	32.0	37.4	43.4	59.0
1959	60.0	87.8	107.0	109.0	109.0
1960	41.2	52.4	58.0	86.4	103.0
1961	35.2	39.8	39.8	47.0	58.4
1962					
1963	36.8	55.2	55.2	74.2	119.0
1964	32.8	36.4	45.6	47.6	70.0
1965	41.4	48.2	51.8	56.2	76.4
1966	35.3	45.0	67.6	73.8	93.2
1967	24.8	25.8	33.6	46.6	60.8
1968	53.0	54.2	61.6	68.2	78.0
1969	33.4	41.0	41.4	42.6	51.8
1970	36.0	47.8	68.2	73.8	85.6
1971	21.8	24.0	46.0	56.4	68.6
1972	35.0	56.6	64.6	66.8	79.6
1973	40.0	45.4	46.0	61.8	95.8
1974	20.2	20.2	25.6	40.2	59.0
1975	32.2	39.4	44.6	44.6	50.1
1976	29.6	34.8	43.4	62.2	62.2

1977	33.8	36.0	36.8	63.4	79.8
1978	20.8	40.2	47.8	48.2	61.0
1979	20.0	40.0	49.4	84.8	109.6
1980	11.2	16.8	22.8	32.5	65.0
1981	27.0	29.4	44.8	70.8	110.8
1982	20.0	31.6	44.6	60.6	67.0
1983	27.6	29.4	30.6	31.0	62.0
1984	29.8	35.6	48.3	54.0	54.6
1985	15.1	21.7	22.2	34.2	50.6
Num. dati	48	48	46	47	46
h*	31.78	39.37	47.50	58.14	74.36
S	10.94	12.88	15.75	18.18	22.33
u	26.85	33.58	40.42	49.96	64.31
α	0.1172	0.0996	0.0814	0.0706	0.0575

Tabella 1

Parametri A ed N della curva di possibilità climatica						
T	10	20	50	100	200	500
A	44.20	50.12	57.77	63.51	69.22	76.77
N	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24

Tabella 2

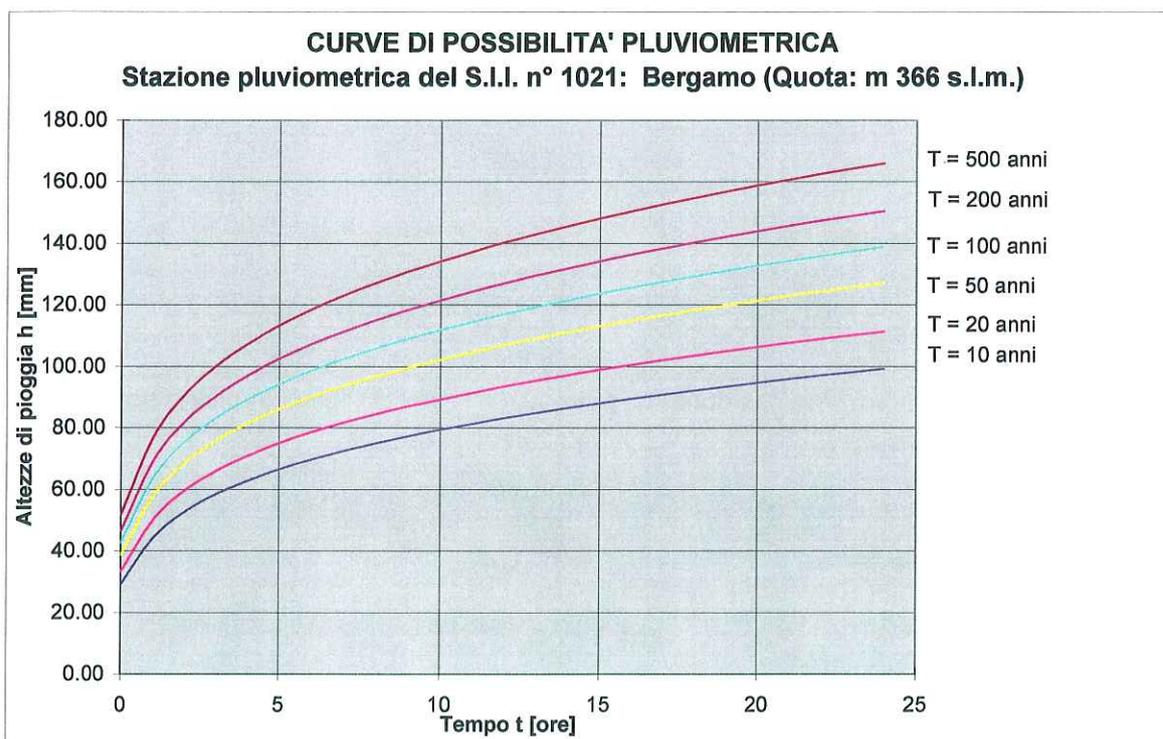


Figura 1

Le curve di possibilità pluviometrica assunte valide per il bacino in esame sono pertanto, per i diversi tempi di ritorno T, le seguenti:

T = 10 anni	$h = 44.203 \times t^{0.255}$
T = 20 anni	$h = 50.116 \times t^{0.251}$
T = 50 anni	$h = 45.732 \times t^{0.248}$
T = 100 anni	$h = 63.507 \times t^{0.246}$
T = 200 anni	$h = 54.138 \times t^{0.371}$
T = 500 anni	$h = 59.674 \times t^{0.370}$

La determinazione dell'onda di piena critica è stata condotta con opportune metodologie per la trasformazione afflussi - deflussi, partendo da piogge sintetiche critiche dedotte dalle curve di possibilità pluviometrica e assumendo che la piena così ottenuta abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha prodotta.

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche più comunemente utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, si è scelto di utilizzare lo ietogramma cosiddetto Chicago, che, presentando andamenti temporali non costanti, consente una migliore rappresentazione del fenomeno meteorico intenso, normalmente caratterizzato dalla presenza di picchi di intensità di pioggia.

La principale caratteristica di questo ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta dallo ietogramma stesso è congruente con quella definita dalla curva di possibilità climatica. Inoltre imponendo che la durata della pioggia sia maggiore del tempo di corrivazione del bacino, si ottiene, proprio per la caratteristica prima detta, che lo scroscio critico è certamente contenuto nella pioggia di progetto.

La costruzione dello ietogramma Chicago è stata eseguita numericamente, ad intervalli di 1 minuto, attraverso l'equazione:

$$i(t) = n \cdot a \cdot (t_b/r)^{n-1}$$

nel tratto precedente il picco, e

$$i(t) = n \cdot a \cdot (t_a/(1-r))^{n-1}$$

nel tratto successivo al picco

In tali equazioni, $i(t)$ è l'intensità all'istante t , a e n i parametri della curva di possibilità pluviometrica, t_a e t_b i tempi (contati rispettivamente dal picco verso la fine dell'evento e dal picco verso l'inizio dello stesso), r la posizione del picco lungo l'asse dei tempi (rapporto tra il tempo di picco e la durata totale).

Si è successivamente eseguito il ragguglio degli ietogrammi così determinati all'area del bacino, mediante la procedura di Wallingford, tarata in base ad un consistente numero di osservazioni sperimentali, che ha la forma:

$$ARF = 1 - f_1 \cdot t^{f_2}$$

dove t è la durata della pioggia in ore f_1 ed f_2 sono due parametri che dipendono dall'area A [km²] del bacino secondo le relazioni:

$$f_1 = 0.0394 \cdot A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.0208 \cdot \ln(4.6 - \ln(A))$$

valide per A compreso tra 0 e 20 km², e

$$f_1 = 0.0394 \cdot A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.00382 \cdot (4.6 - \ln(A))^2$$

valide per A compreso tra 20 e 100 km², e

A partire da queste piogge sintetiche, si è proceduto alla determinazione delle onde di piena prodotte nel bacino scolante attraverso la trasformazione afflussi - deflussi eseguita assumendo un modello idrologico lineare di tipo globale, in grado di fornire la risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche.

Nelle figure 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 sono rappresentati gli ietogrammi tipo Chicago relativi rispettivamente a tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni.

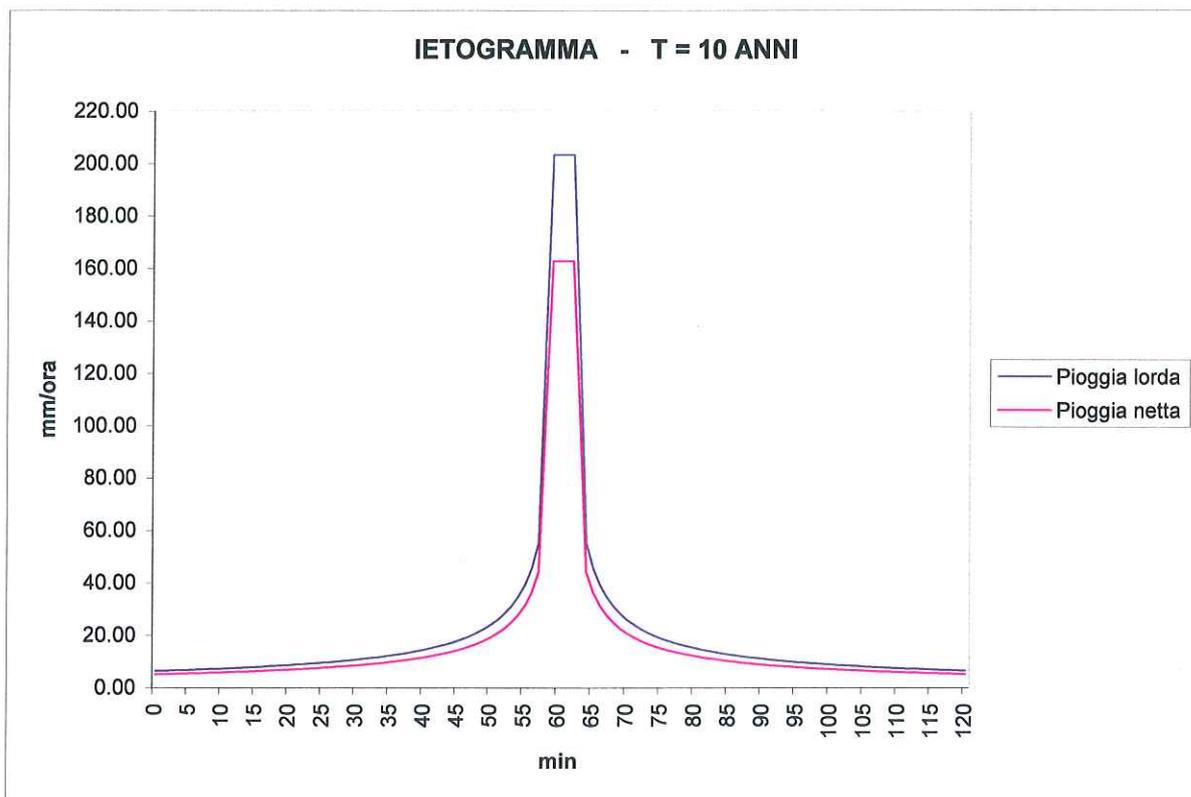


Figura 2

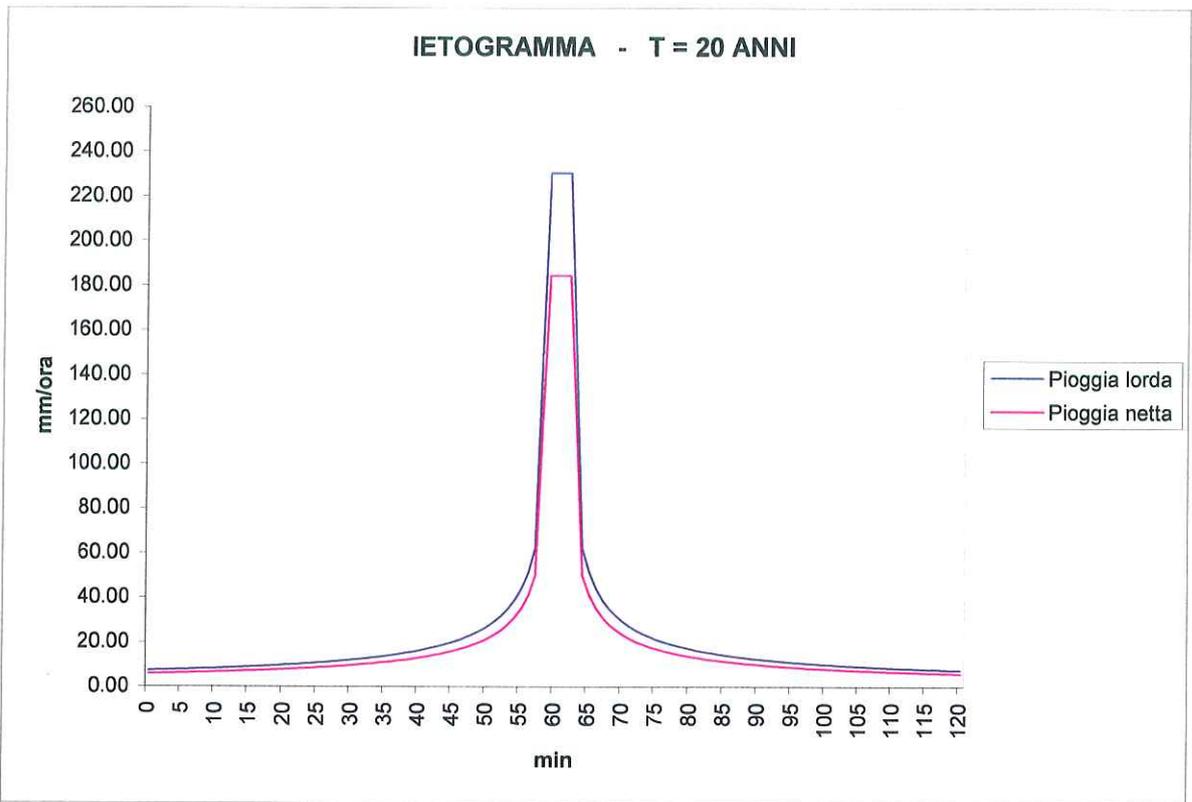


Figura 3

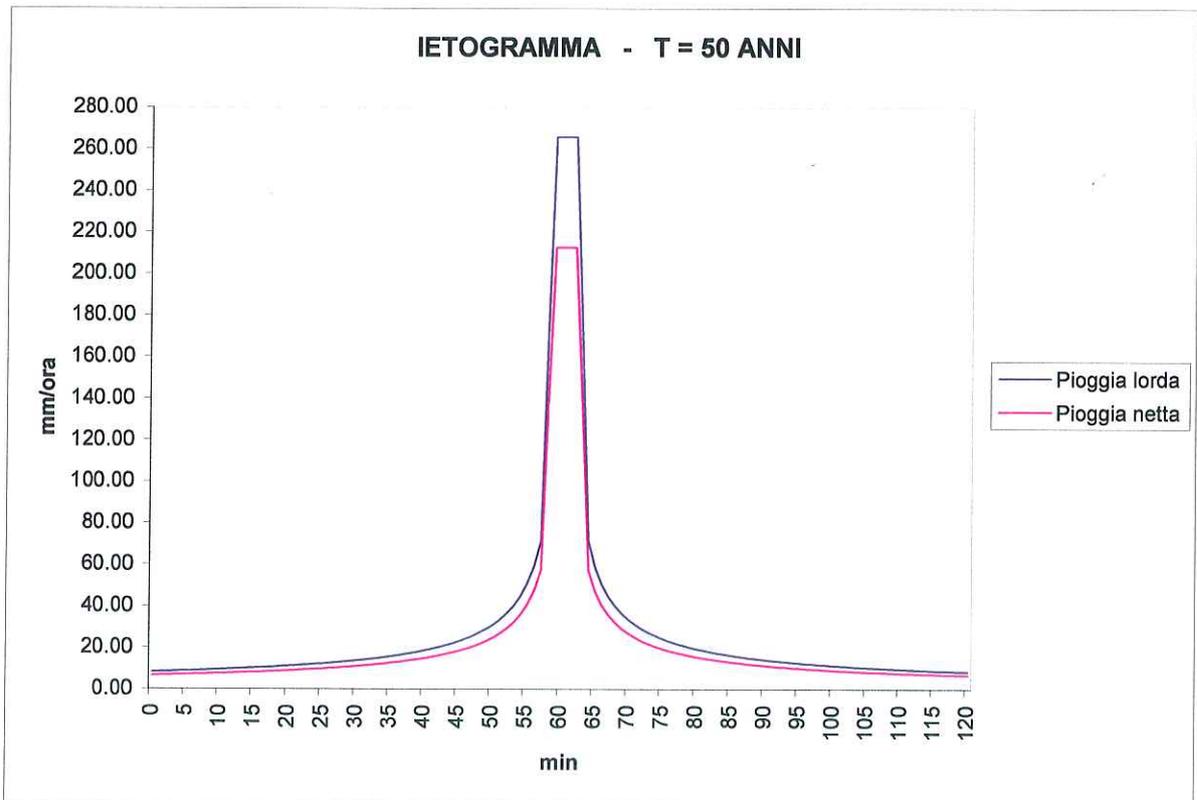


Figura 4

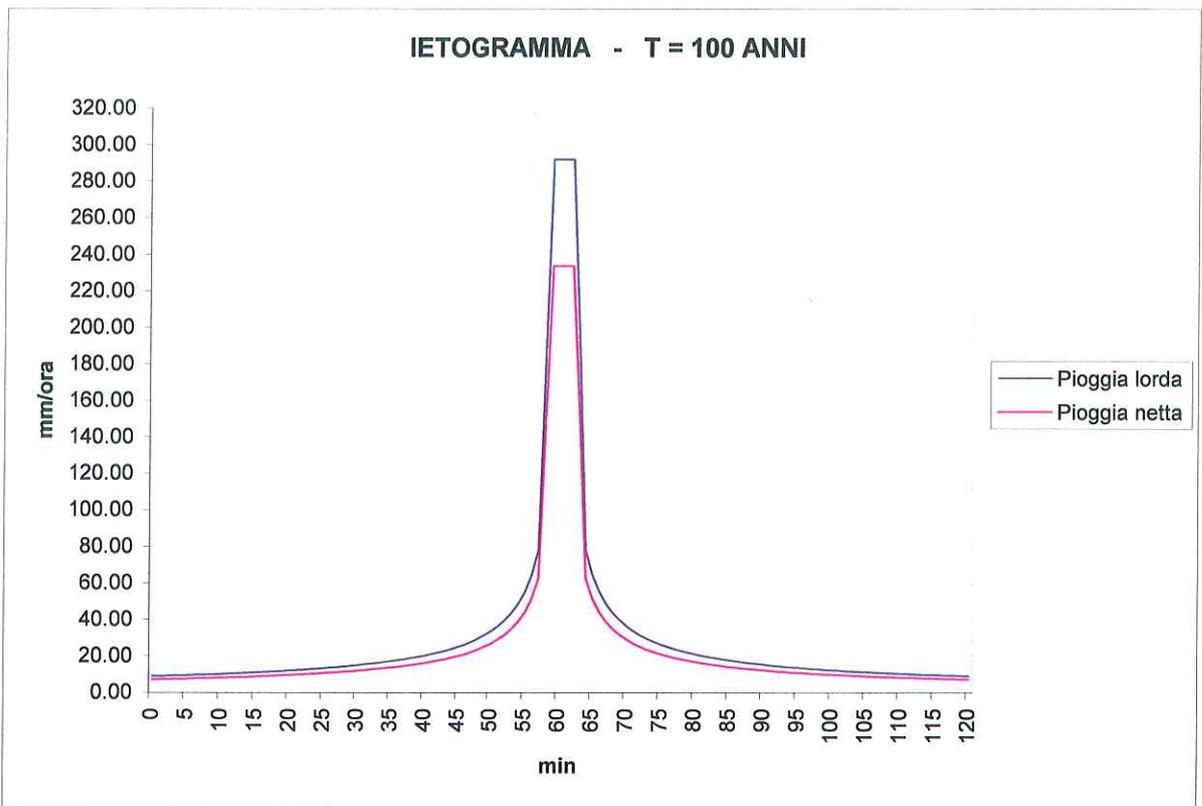


Figura 5

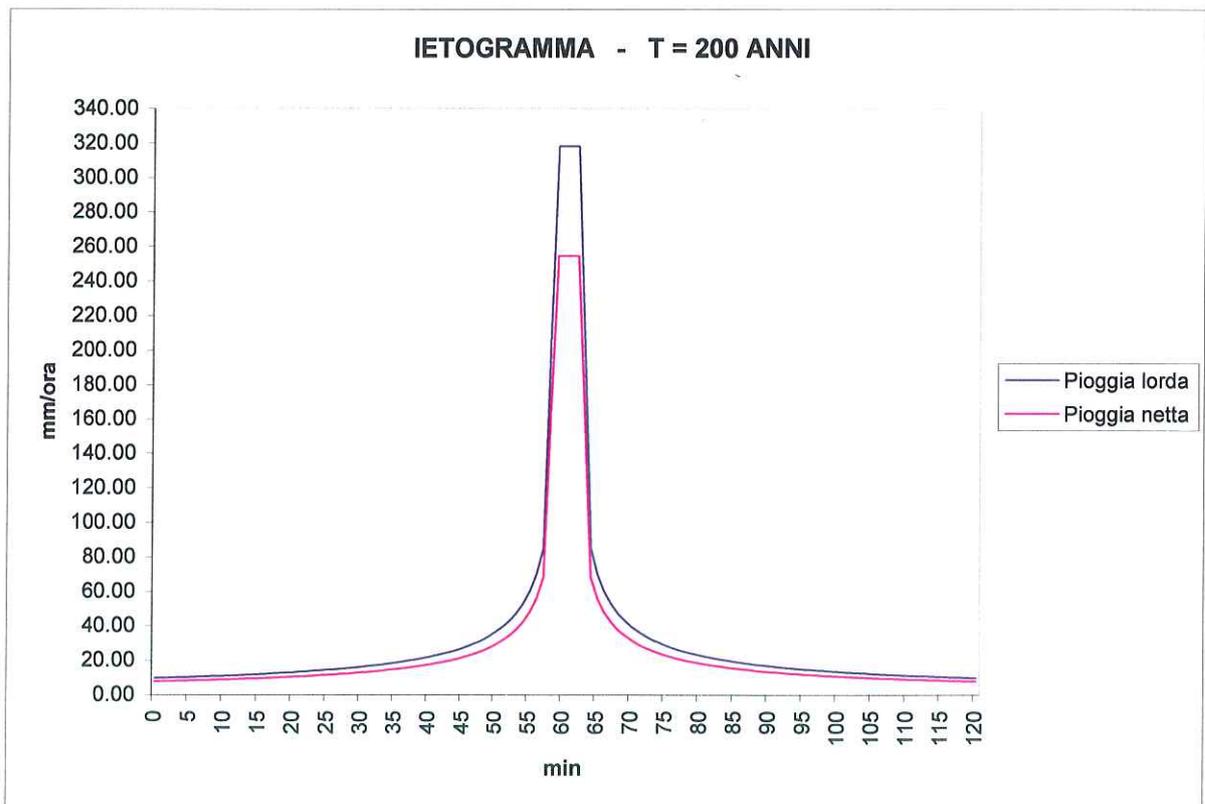


Figura 6

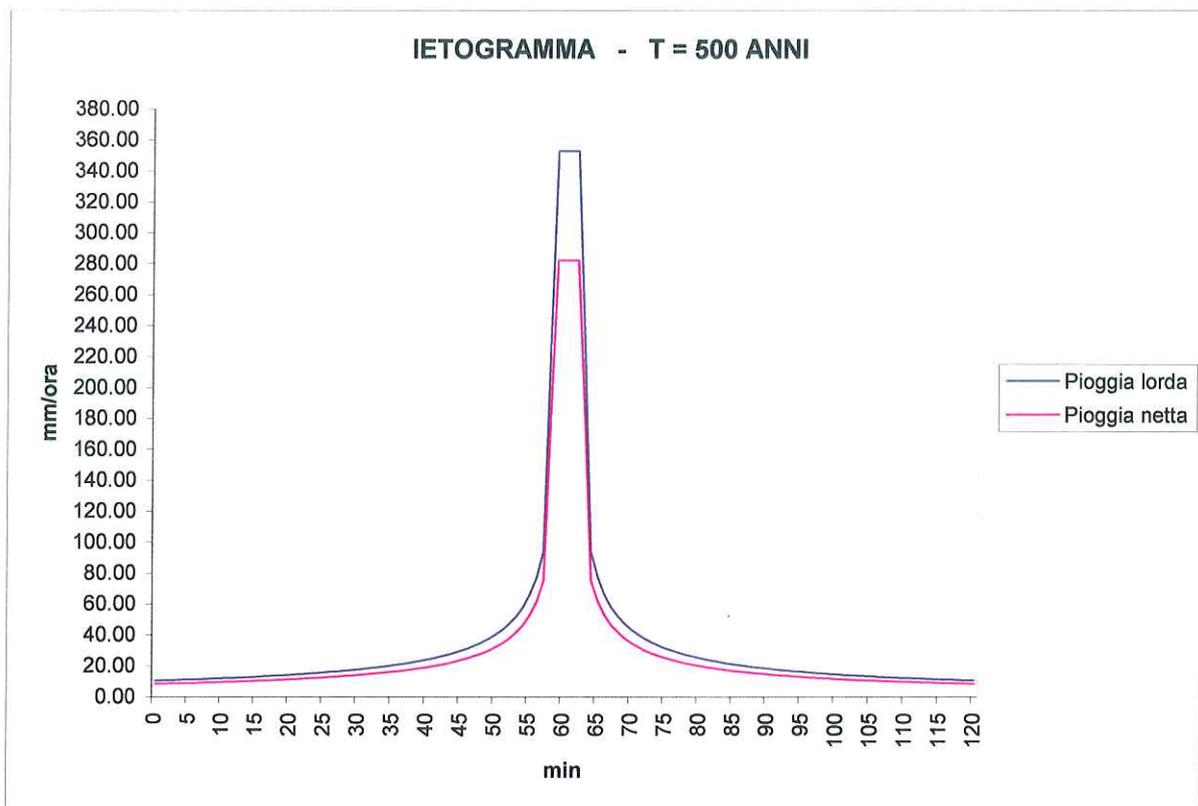


Figura 7

Tale modello viene impiegato per la trasformazione in deflussi dei cosiddetti afflussi netti, cioè depurati dalle perdite idrologiche (infiltrazione sotterranea, evapotraspirazione, ecc.).

Per definire tali perdite ideologiche si è adottato il metodo percentuale, che equivale a considerare la pioggia netta ricadente sull'intero bacino come una percentuale della pioggia lorda, ottenuta con l'adozione di un coefficiente di afflusso (φ) assunto, nel caso in esame, pari a 0.80, sulla base dell'esperienza e dopo attente valutazioni dei risultati ottenuti con coefficienti d'afflusso di valori differenti.

Il modello adottato si basa sulla teoria dell'idrogramma unitario istantaneo, in cui la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi viene eseguita numericamente attraverso la convoluzione di un idrogramma unitario istantaneo (IUH), scelto opportunamente tra i diversi tipi esistenti.

L'IUH racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che interessano la formazione delle piene, e quindi la capacità di invaso, il tempo di risposta del bacino, ecc.

Si sono utilizzati i seguenti modelli:

Modello di corrivazione

Considera prevalenti nel bacino i fenomeni di traslazione d'acqua ed è rappresentato dalla:

$$h(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{ds(t)}{dt}$$

e cioè dalla curva derivata dalla curva aree-tempi, rapportata alla superficie del bacino.

La curva $h(t)$ ha in questo caso un tempo di base definito pari al tempo di corrivazione t_c , cioè al tempo necessario ad una particella d'acqua per percorrere l'intero bacino lungo il percorso idraulicamente più lungo.

Per bacini naturali t_c è valutabile mediante molte formule empiriche, fra cui molto usata in Italia è la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 A^{1/2} + 1.5L}{0.8 H^{1/2}}$$

dove:

t_c = tempo di corrivazione [ore];

A = superficie del bacino [kmq];

L = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino [km];

H = altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m].

Benchè, anche per una pioggia uniforme e costante, il tempo di corrivazione reale non sia univocamente definito, dato che la velocità di scorrimento dell'acqua sul bacino varia al variare delle condizioni fisiche ed in funzione del tirante idrico; si può tuttavia considerare una velocità costante, e quindi un tempo di corrivazione univocamente definito.

Si ottiene:

$$t_c = \frac{4 \times 0.17^{1/2} + 1.5 \times 1.025}{0.8 \times 161.00^{1/2}} = 0.31 \text{ ore} = 18 \text{ min}$$

A questo tempo di corrivazione corrisponde una velocità media della corrente pari a:

$$V = \frac{L}{t_c} = \frac{1.025}{0.31 \times 3600} = 0.91 \text{ m/sec}$$

Tale valore appare tuttavia troppo basso, in relazione alla conformazione e all'elevata pendenza del bacino; sulla base di una valutazione più ampia di tali caratteristiche, si è ritenuto di assumere un valore della velocità $V = 2.00 \text{ m/sec}$, che corrisponde ad un tempo di corrivazione $t_c = 0.14 \text{ ore} = 8 \text{ minuti}$.

Modello di Nash

Schematizza il bacino come una cascata di serbatoi lineari secondo l'espressione:

$$h(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \cdot (t/K)^{n-1} \cdot e^{-t/K}$$

dove K è la costante caratteristica dei serbatoi ed n il loro numero.

Si è assunto $n = 3$ e K correlato al tempo di corrivazione del bacino t_c e al numero n secondo l'espressione:

$$K = 0.5 \cdot \frac{t_c}{(n-1)}$$

Modello dell'invaso

Si basa sull'ipotesi che la formazione della piena nel bacino avvenga per fenomeni d'invaso del tipo di quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo e a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della sua bocca d'uscita; il modello è descritto dall'espressione:

$$h(t) = \frac{1}{K} e^{-t/K}$$

con t durata dell'evento e k costante d'invaso, legata al tempo di corrivazione del bacino dall'espressione:

$$K = 0.7 t_c$$

Nelle Figure 8, 9 e 10 sono raffigurati gli idrogrammi unitari istantanei per il bacino in esame, relativi, nell'ordine, al modello di corrivazione, di Nash e dell'invaso.

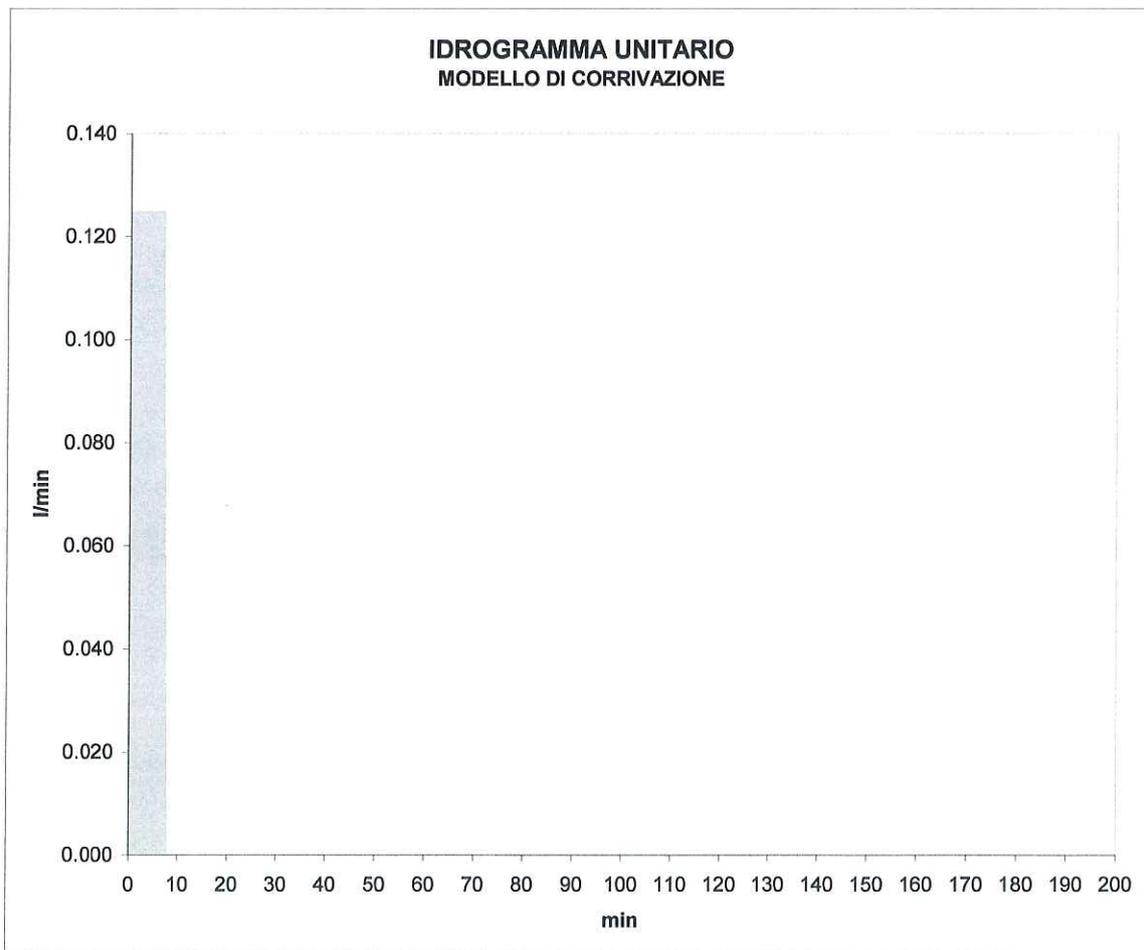


Figura 8

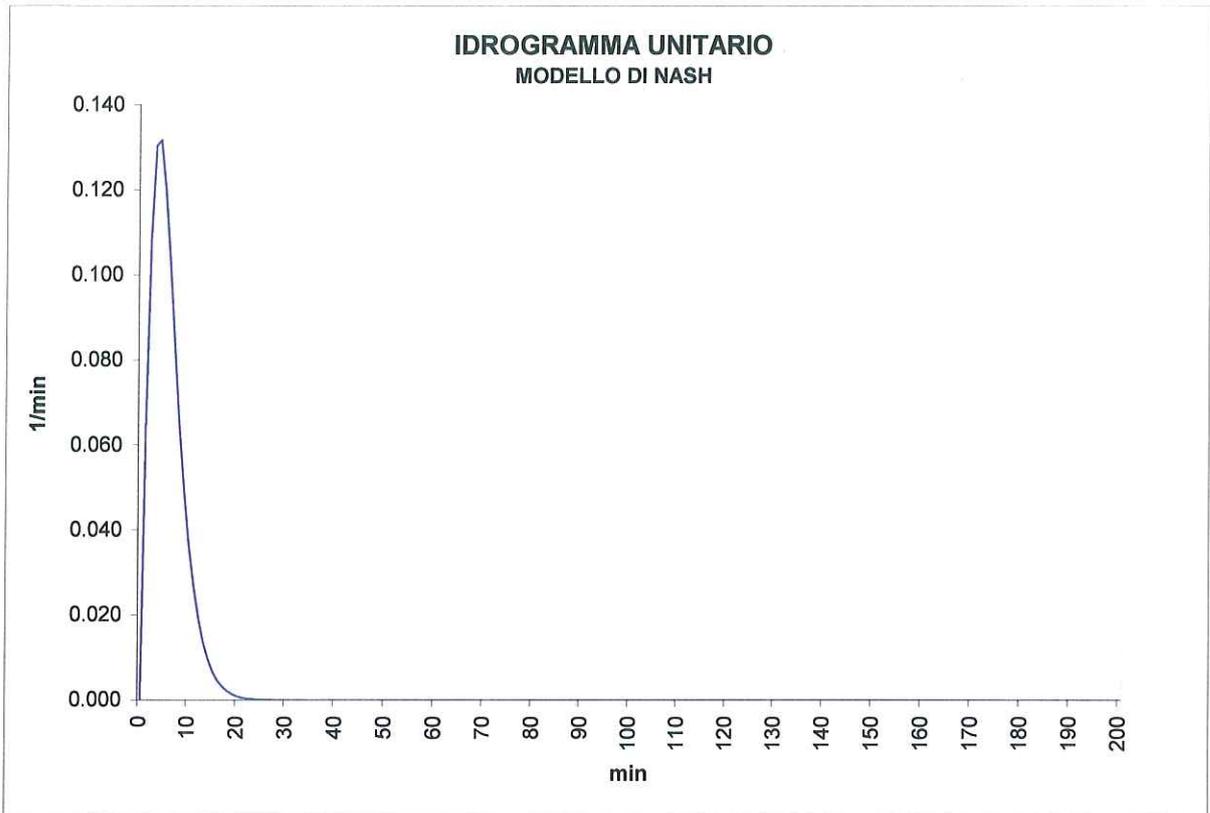


Figura 9

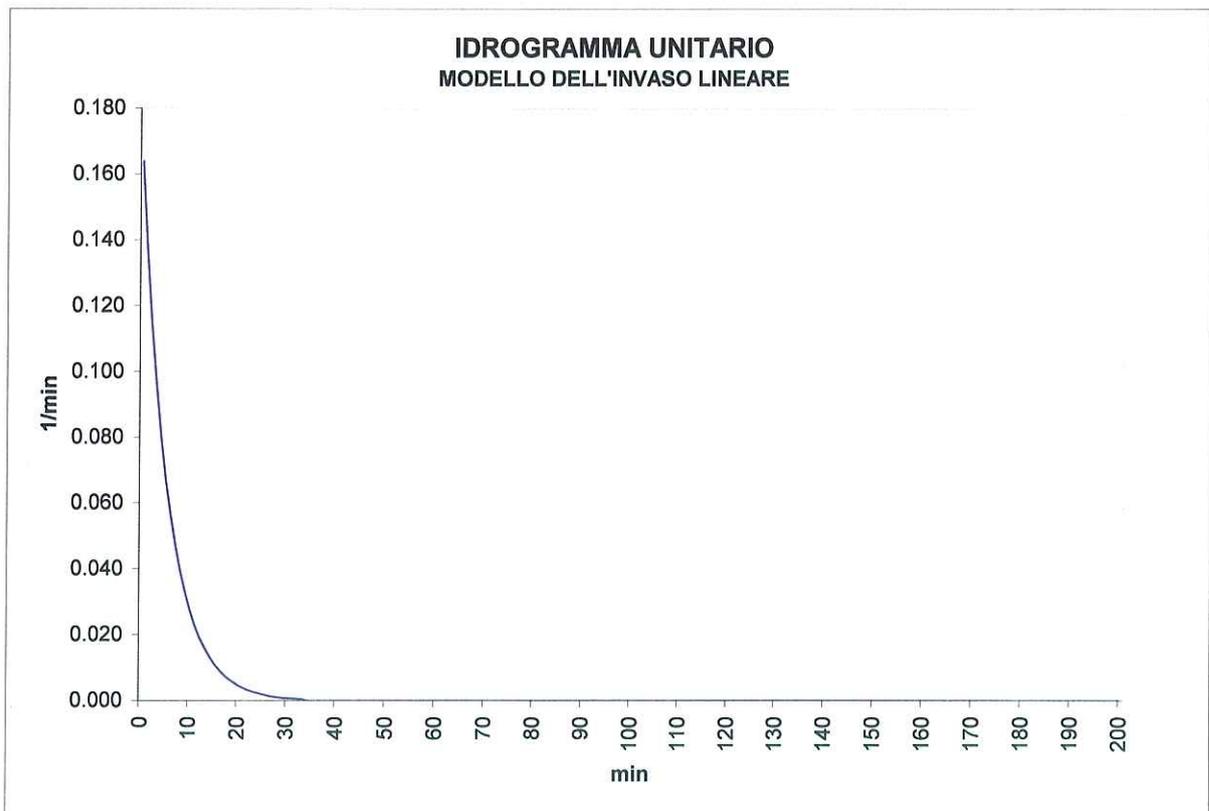


Figura 10

E' stata infine eseguita la trasformazione degli ietogrammi sintetici in onde di piena per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200, 500 anni, e con riferimento ai tre modelli matematici utilizzati; tali onde di piena sono rappresentate nelle figure 11, 12, 13, 14, 15 e 16.

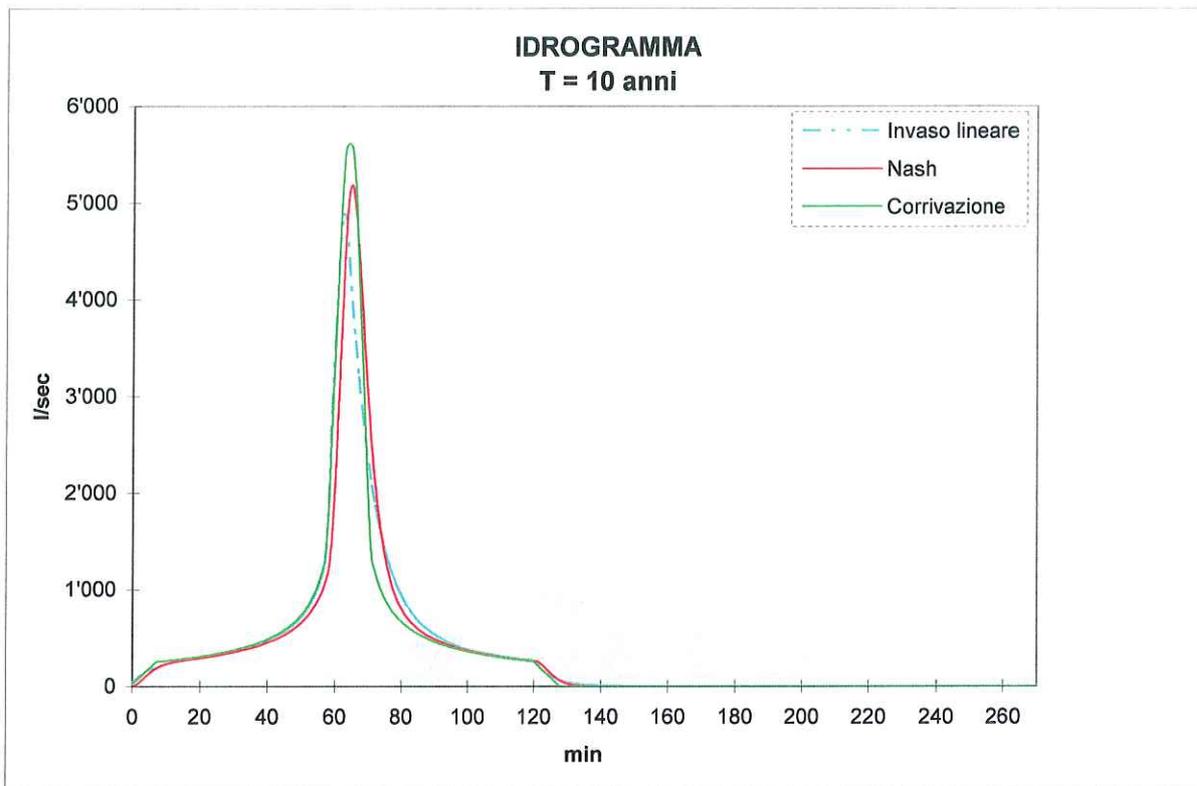


Figura 11

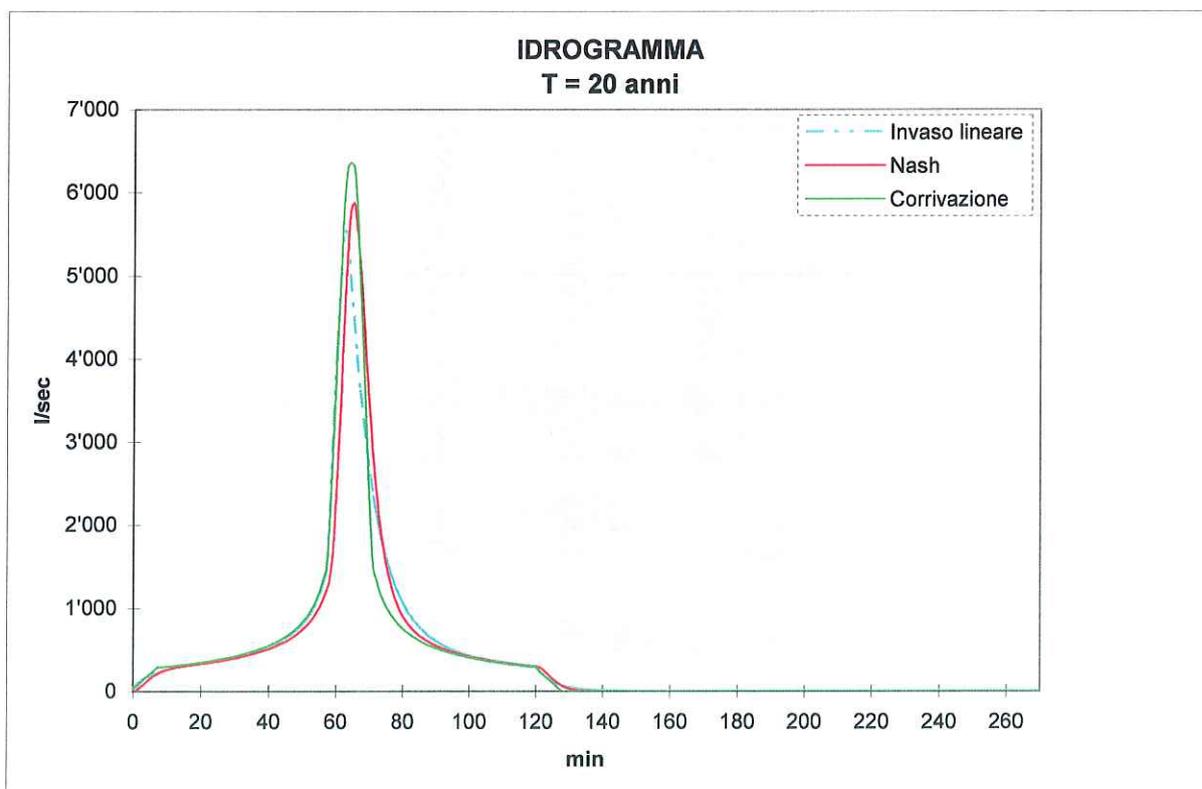


Figura 12

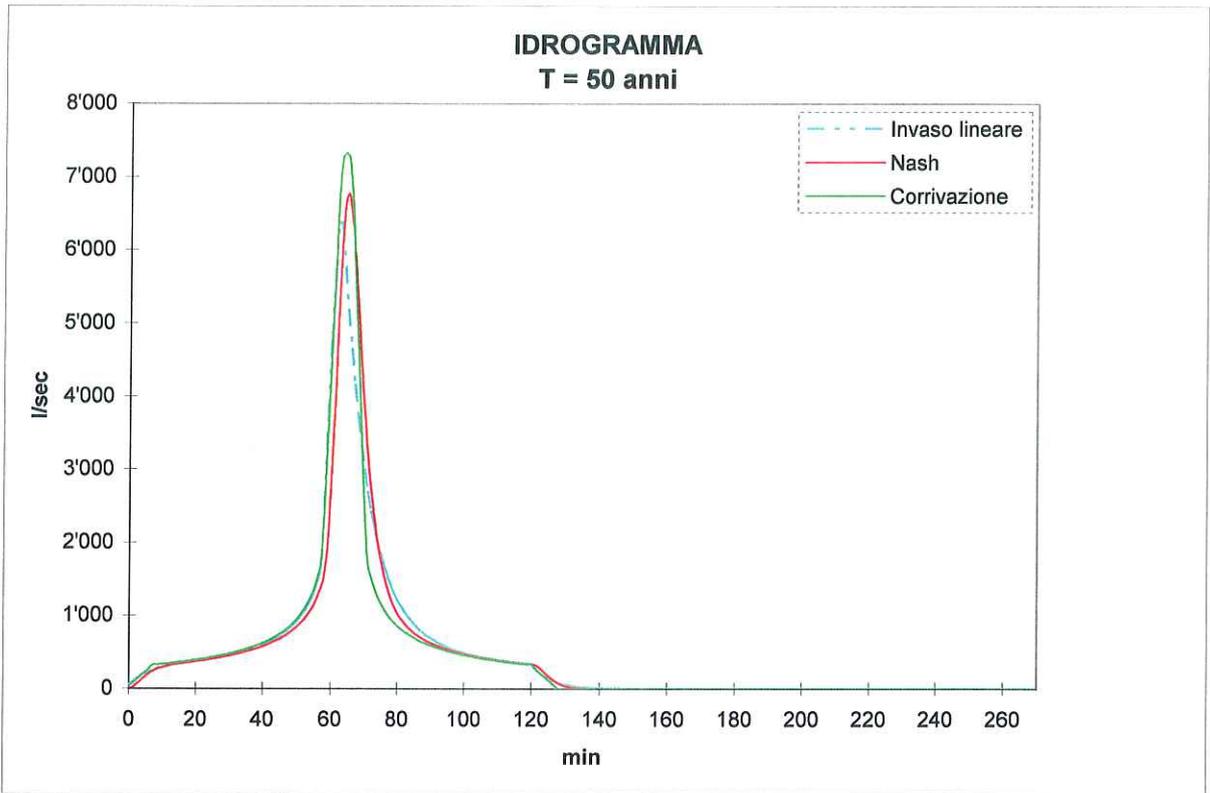


Figura 13

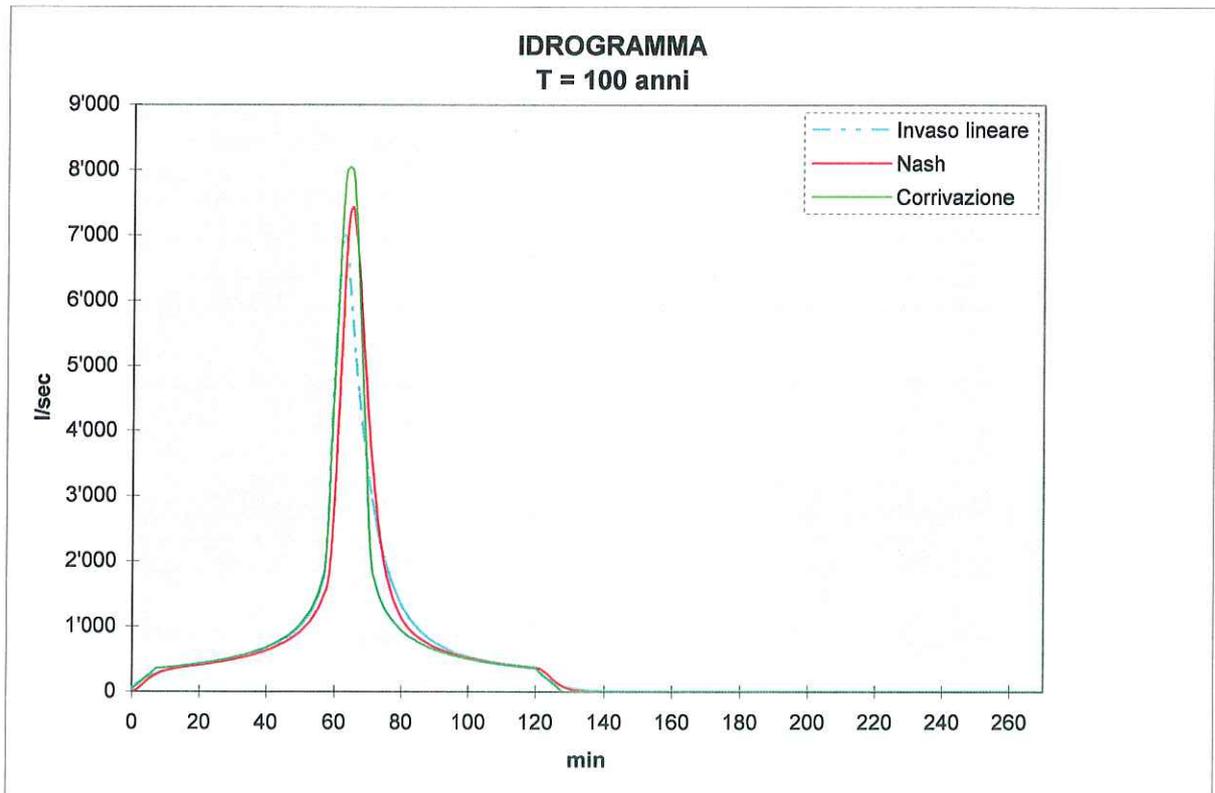


Figura 14

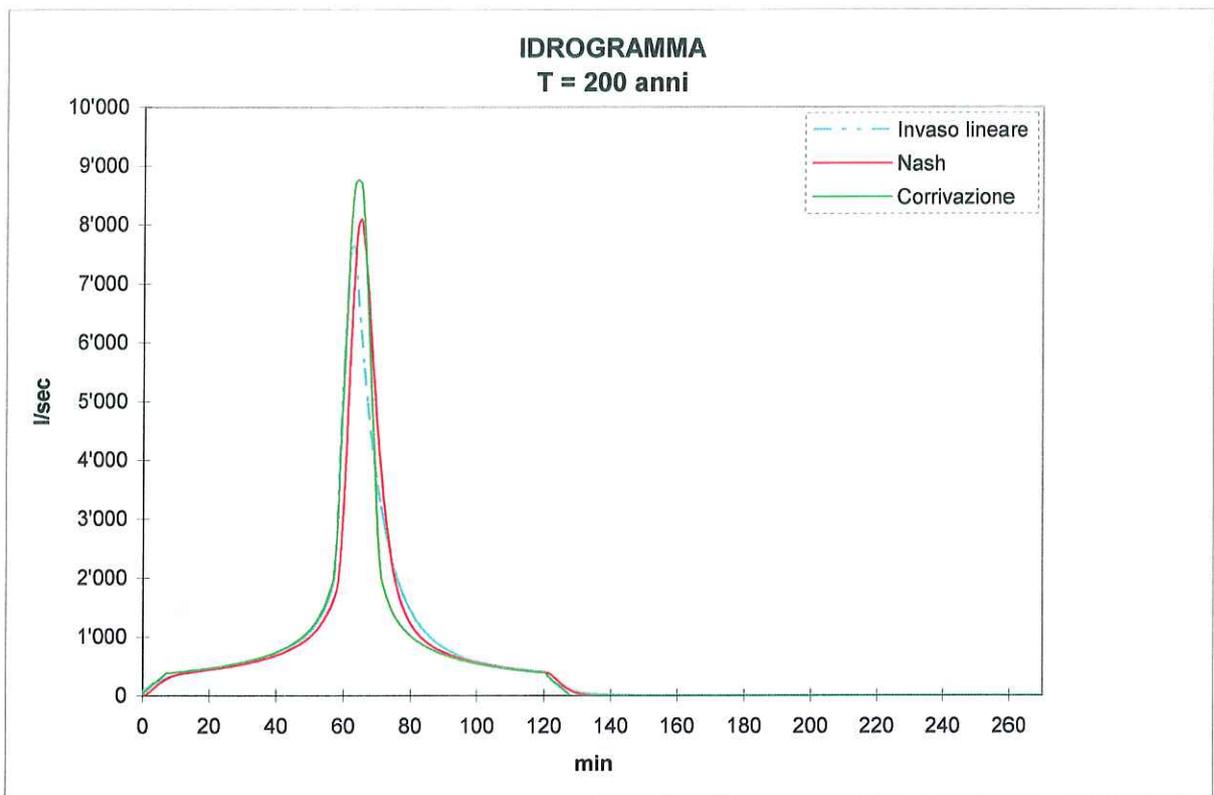


Figura 15

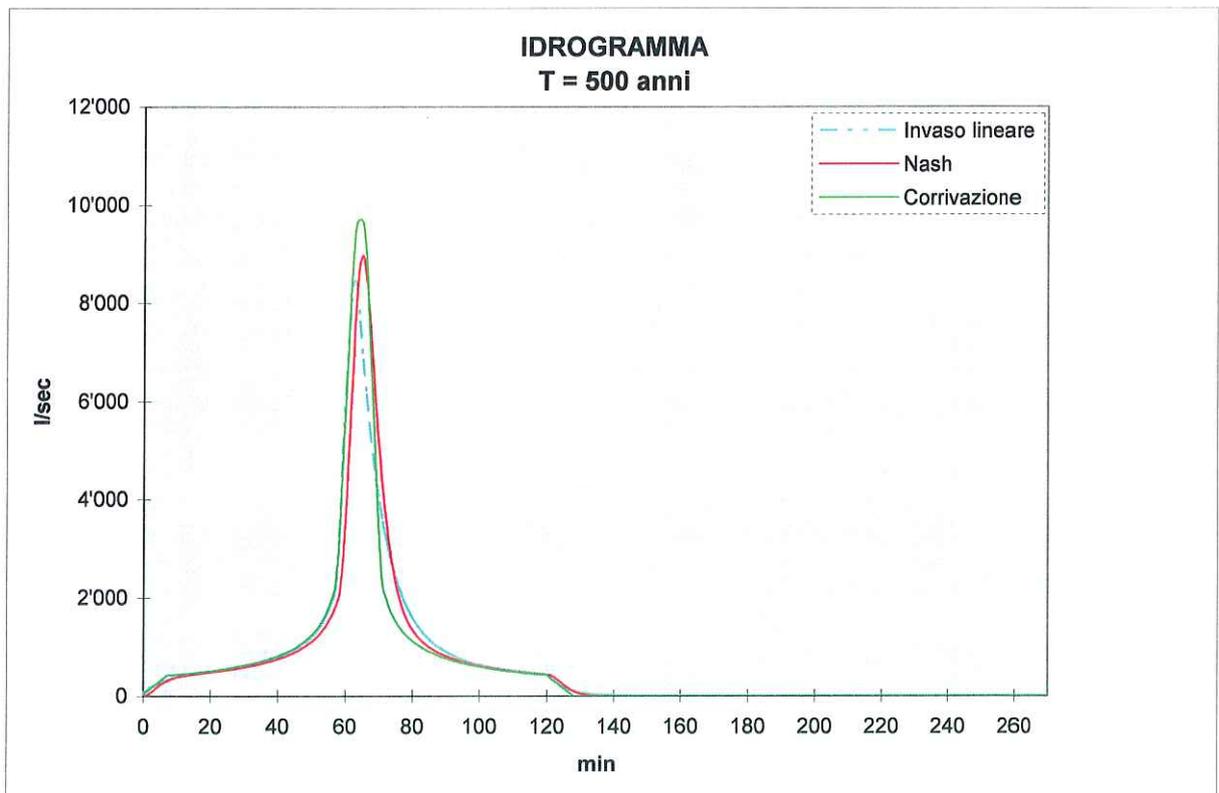


Figura 16

Nel presente studio si è deciso di fare riferimento al modello di trasformazione afflussi - deflussi di Nash, particolarmente adatto per la rappresentazione dei fenomeni in bacini naturali.

Relativamente ai tre modelli (unico invaso lineare, Nash, corrivazione), nella tabella n° 3 sono riportate, in funzione del tempo di ritorno, le portate di piena stimate, mentre in figura 17 è rappresentato il legame tra tempo di ritorno e portata al colmo.

PORTATE AL COLMO [l/sec]						
T	10	20	50	100	200	500
invaso	4'892	5'540	6'379	7'006	7'631	8'455
nash	5'191	5'880	6'770	7'437	8'100	8'976
serb. lineare	5'617	6'362	7'326	8'048	8'766	9'714

Tabella 3

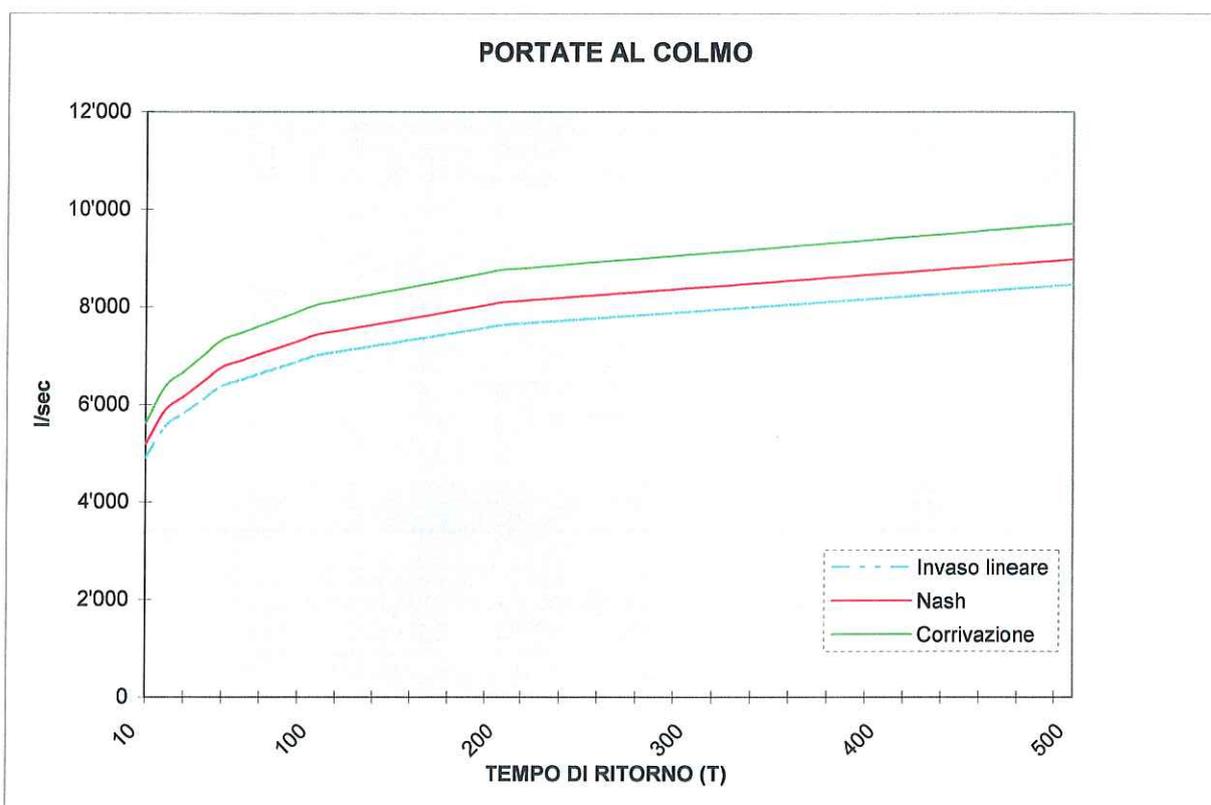


Figura 17

CALCOLI IDRAULICI

I livelli idrici massimi che si possono verificare nell'alveo del torrente denominato Valle del Castello, in corrispondenza del tratto tombato (canale in calcestruzzo di m 1.80 x 3.00), sono stati valutati analiticamente ipotizzando la corrente unidimensionale in moto permanente.

Pertanto si è proceduto alla determinazione delle diverse grandezze idrauliche della corrente e del profilo di pelo libero che si instaura in condizioni di moto permanente lungo il tratto analizzato.

Sono state determinate le seguenti caratteristiche geometriche delle sezioni bagnate in funzione dell'altezza idrica h:

- A = area della sezione bagnata;
- H = altezza del pelo libero;
- P = perimetro bagnato;
- R = raggio idraulico.

E' quindi stata costruita la scala di deflusso di moto uniforme che rappresenta il legame $Q(h_0)$ tra portata e livello idrico. Detto legame è stato valutato tramite la formula di Chèzy:

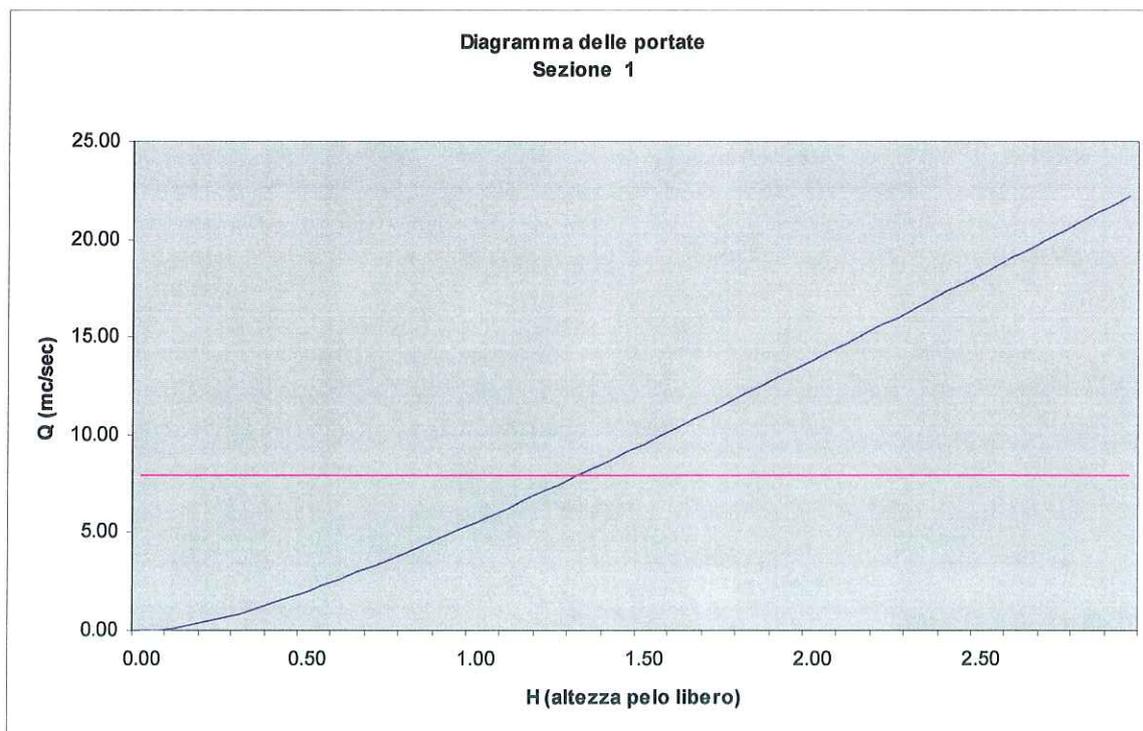
$$Q = A \times V = A \times \chi * (R * I)^{1/2}$$

dove:

- Q = portata di transito [mc/sec];
- I = pendenza dell'alveo;
- V = $\chi * (R * I)^{1/2}$ = velocità della corrente [m/sec];
- $\chi = [100 * (R)^{1/2}] / [(R)^{1/2} + m]$;
- m = coefficiente di scabrezza di Kutter.

La pendenza dell'alveo è pari a 0.02, e la portata di riferimento, con tempo di ritorno T = 200 anni, è di 7917 l/sec. Il coefficiente di scabrezza m è stato assunto in base ai dati di letteratura pari a 1.5, in via prudenziale.

Di seguito si riportano i diagrammi delle portate e le tabelle di calcolo delle diverse grandezze idrauliche in funzione dell'altezza del pelo libero, per la sezione in esame.



H pelo libero	Perimetro bagnato - C	Area sezione idraulica - A	Pendenza I	Raggio idraulico - R	Coefficiente di scabrezza di Kutter - m	c	V	Portata di transito - Q	Portata di riferimento - Qr
(m)	(m)	(m ²)		(m)			(m/s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
0.00	-	0.00	0.020	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	7.92
0.05	1.90	0.09	0.020	0.05	1.50	12.67	0.39	0.04	7.92
0.10	2.00	0.18	0.020	0.09	1.50	16.67	0.71	0.13	7.92
0.15	2.10	0.27	0.020	0.13	1.50	19.29	0.98	0.26	7.92
0.20	2.20	0.36	0.020	0.16	1.50	21.24	1.22	0.44	7.92
0.25	2.30	0.45	0.020	0.20	1.50	22.77	1.42	0.64	7.92
0.30	2.40	0.54	0.020	0.23	1.50	24.03	1.61	0.87	7.92
0.35	2.50	0.63	0.020	0.25	1.50	25.07	1.78	1.12	7.92
0.40	2.60	0.72	0.020	0.28	1.50	25.97	1.93	1.39	7.92
0.45	2.70	0.81	0.020	0.30	1.50	26.75	2.07	1.68	7.92
0.50	2.80	0.90	0.020	0.32	1.50	27.43	2.20	1.98	7.92
0.55	2.90	0.99	0.020	0.34	1.50	28.03	2.32	2.29	7.92
0.60	3.00	1.08	0.020	0.36	1.50	28.57	2.42	2.62	7.92
0.65	3.10	1.17	0.020	0.38	1.50	29.06	2.52	2.95	7.92
0.70	3.20	1.26	0.020	0.39	1.50	29.49	2.62	3.30	7.92
0.75	3.30	1.35	0.020	0.41	1.50	29.89	2.70	3.65	7.92
0.80	3.40	1.44	0.020	0.42	1.50	30.26	2.78	4.01	7.92
0.85	3.50	1.53	0.020	0.44	1.50	30.59	2.86	4.38	7.92
0.90	3.60	1.62	0.020	0.45	1.50	30.90	2.93	4.75	7.92
0.95	3.70	1.71	0.020	0.46	1.50	31.19	3.00	5.13	7.92
1.00	3.80	1.80	0.020	0.47	1.50	31.45	3.06	5.51	7.92
1.05	3.90	1.89	0.020	0.48	1.50	31.70	3.12	5.90	7.92
1.10	4.00	1.98	0.020	0.50	1.50	31.93	3.18	6.29	7.92
1.15	4.10	2.07	0.020	0.50	1.50	32.14	3.23	6.69	7.92
1.20	4.20	2.16	0.020	0.51	1.50	32.35	3.28	7.09	7.92
1.25	4.30	2.25	0.020	0.52	1.50	32.53	3.33	7.49	7.92
1.30	4.40	2.34	0.020	0.53	1.50	32.71	3.37	7.89	7.92
1.35	4.50	2.43	0.020	0.54	1.50	32.88	3.42	8.30	7.92
1.40	4.60	2.52	0.020	0.55	1.50	33.04	3.46	8.72	7.92
1.45	4.70	2.61	0.020	0.56	1.50	33.19	3.50	9.13	7.92
1.50	4.80	2.70	0.020	0.56	1.50	33.33	3.54	9.55	7.92
1.55	4.90	2.79	0.020	0.57	1.50	33.47	3.57	9.96	7.92
1.60	5.00	2.88	0.020	0.58	1.50	33.60	3.61	10.39	7.92
1.65	5.10	2.97	0.020	0.58	1.50	33.72	3.64	10.81	7.92
1.70	5.20	3.06	0.020	0.59	1.50	33.84	3.67	11.23	7.92
1.75	5.30	3.15	0.020	0.59	1.50	33.95	3.70	11.66	7.92
1.80	5.40	3.24	0.020	0.60	1.50	34.05	3.73	12.09	7.92
1.85	5.50	3.33	0.020	0.61	1.50	34.16	3.76	12.52	7.92
1.90	5.60	3.42	0.020	0.61	1.50	34.25	3.79	12.95	7.92
1.95	5.70	3.51	0.020	0.62	1.50	34.35	3.81	13.38	7.92
2.00	5.80	3.60	0.020	0.62	1.50	34.44	3.84	13.81	7.92
2.05	5.90	3.69	0.020	0.63	1.50	34.52	3.86	14.25	7.92
2.10	6.00	3.78	0.020	0.63	1.50	34.60	3.88	14.68	7.92
2.15	6.10	3.87	0.020	0.63	1.50	34.68	3.91	15.12	7.92
2.20	6.20	3.96	0.020	0.64	1.50	34.76	3.93	15.56	7.92
2.25	6.30	4.05	0.020	0.64	1.50	34.83	3.95	16.00	7.92
2.30	6.40	4.14	0.020	0.65	1.50	34.90	3.97	16.44	7.92
2.35	6.50	4.23	0.020	0.65	1.50	34.97	3.99	16.88	7.92
2.40	6.60	4.32	0.020	0.65	1.50	35.04	4.01	17.32	7.92
2.45	6.70	4.41	0.020	0.66	1.50	35.10	4.03	17.76	7.92
2.50	6.80	4.50	0.020	0.66	1.50	35.16	4.05	18.20	7.92
2.55	6.90	4.59	0.020	0.67	1.50	35.22	4.06	18.65	7.92
2.60	7.00	4.68	0.020	0.67	1.50	35.28	4.08	19.09	7.92
2.65	7.10	4.77	0.020	0.67	1.50	35.34	4.10	19.54	7.92
2.70	7.20	4.86	0.020	0.68	1.50	35.39	4.11	19.98	7.92
2.75	7.30	4.95	0.020	0.68	1.50	35.44	4.13	20.43	7.92
2.80	7.40	5.04	0.020	0.68	1.50	35.49	4.14	20.88	7.92
2.85	7.50	5.13	0.020	0.68	1.50	35.54	4.16	21.32	7.92
2.90	7.60	5.22	0.020	0.69	1.50	35.59	4.17	21.77	7.92
2.95	7.70	5.31	0.020	0.69	1.50	35.63	4.18	22.22	7.92

